

AH

Requested Patent: DE3818192A1
Title: THERMOELECTRIC ARRANGEMENT HAVING TUNNEL CONTACTS ;
Abstracted Patent: DE3818192 ;
Publication Date: 1989-12-07 ;
Inventor(s): DAHLBERG REINHARD DR (DE) ;
Applicant(s): DAHLBERG REINHARD (DE) ;
Application Number: DE19883818192 19880528 ;
Priority Number(s): DE19883818192 19880528 ;
IPC Classification: F25B21/02; H01L35/04; H01L35/14; H01L35/26; H01L35/32 ;
Equivalents: ;

ABSTRACT:

The improvement to the thermodynamic efficiency of Peltier elements and Seebeck elements is the problem addressed by the invention. It is proposed as a solution to construct a thermocouple arm from two separate semiconductor parts at different temperatures in such a way that they have a multiplicity of points where they touch one another. The two semiconductor parts have a surface coating in which electron or hole concentration is so high that the Fermi level there is situated in or very near the conduction band or valence band. There is a metallically conductive overlayer (capping layer) on these surface coatings. The points of contact between the two semiconductor parts at different temperatures are thereby tunnel contacts between the overlayers. The thickness of these surface coatings and overlayers is small by comparison with the mean free path length of the majority charge carriers in the semiconductor parts. As a result, the thermal e.m.f. of the semiconductor parts determines the thermal e.m.f. of the thermocouple arm. Since, on the other hand, the tunnel contacts between the overlayers obey the Wiedemann-Franz-Lorenz law, this combination yields an increase in the thermodynamic efficiency of the energy conversion.

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ Off nl gungsschrift
①⑪ DE 3818192 A1

②① Aktenzeich n: P 38 18 192.4
②② Anmeld tag: 28. 5. 88
④③ Offenlegungstag: 7. 12. 89

⑥① Int. Cl. 4:
H01 L 35/26
H 01 L 35/14
H 01 L 35/04
H 01 L 35/32
F 25 B 21/02
// H01L 35/34

DE 3818192 A1

⑦① Anmelder:
Dahlberg, Reinhard, Dr., 7101 Flein, DE

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

⑥④ Thermoelektrische Anordnung mit Tunnelkontakten

Die Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrades von Peltier-Elementen und Seebeck-Elementen ist die Problemstellung der Erfindung. Als Lösungsweg wird vorgeschlagen, einen Thermoschenkel aus zwei getrennten und ungleich temperierten Halbleiter-Teilen so auszubilden, daß diese eine Vielzahl von Berührungsstellen miteinander haben. Die beiden Halbleiter-Teile haben eine Oberflächenschicht, in welcher die Elektronen- bzw. Defektelektronen-Konzentration so hoch ist, daß das Fermi-Niveau dort im oder sehr nahe am Leitungsband bzw. Valenzband liegt. Auf diesen Oberflächenschichten befindet sich eine metallisch leitende Deckschicht. Die Berührungsstellen zwischen den beiden ungleich temperierten Halbleiter-Teilen sind dadurch Tunnelkontakte zwischen den Deckschichten. Die Dicke der Oberflächenschichten und Deckschichten ist klein gegen die mittlere freie Weglänge der Majoritätsladungsträger in den Halbleiter-Teilen. Dadurch bestimmt die Thermokraft der Halbleiterteile die Thermokraft des Thermoschenkels. Da andererseits die Tunnelkontakte zwischen den Deckschichten dem Gesetz von Wiedemann-Franz-Lorenz gehorchen, ergibt diese Kombination eine Vergrößerung des thermodynamischen Wirkungsgrades der Energieumwandlung.

DE 3818192 A1

Beschreibung

Die Patentanmeldung betrifft eine thermoelektrische Anordnung zur Umwandlung von Wärme in elektrische Energie und zum reversiblen Pumpen von Wärme mit großem thermodynamischem Wirkungsgrad. Durch das deutsche Patent 25 47 262 ist bekannt, daß höhere Wirkungsgrade bei thermoelektrischen Anordnungen erreicht werden können, wenn in jedem Thermoelement der Wärmestrom über mindestens eine Stelle mit Temperaturgradienten größer als 10^4 K/cm fließt. Durch die deutsche Offenlegungsschrift DE 34 04 137 A1 ist ferner bekannt, daß die Stelle mit dem Temperaturgradienten $> 10^4$ K/cm ein Kontaktwiderstand mit Fremdschicht sein kann. Das Material, aus welchem die Fremdschicht besteht, hat einen makroskopischen elektrischen Widerstand größer als $1 \Omega \text{cm}$. Wegen seiner Dicke kleiner als 1×10^{-6} cm ist der spez. elektrische Widerstand — als Folge des Tunneleffektes — auf unter $1 \Omega \text{cm}$ verkleinert. Wenn thermoelektrisches Material mit hoher Thermokraft für die Fremdschicht im Kontakt verwendet wird, kann über den Tunneleffekt die Effektivität des thermoelektrischen Materials vergrößert werden.

Durch die deutsche Offenlegungsschrift DE 34 04 138 A1 ist ferner bekannt, daß die Stelle mit dem Temperaturgradienten $> 10^4$ K/cm zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels ein elektrischer und thermischer Engwiderstand ohne Fremdschicht sein kann, und daß der Durchmesser dieses Engwiderstandes kleiner ist als die Diffusionslänge oder die mittlere freie Weglänge der Ladungsträger.

Die vorliegende Erfindung stellt ebenfalls eine Weiterbildung des deutschen Patents 25 47 262 dar. Auch bei ihr besteht ein Thermoschenkel aus zwei getrennten und ungleich temperierten Teilen, welche sich an mindestens einer Stelle stationär berühren. Auch die Berührungsstellen sind so ausgebildet, daß sie mit Hilfe von mechanischem Druck erzeugte thermische und elektrische Kontakte mit durchtunnelbarer Potentialbarriere sind, durch welche ein Wärmestrom mit einem Temperaturgradienten $> 10^4$ K/cm fließt. Die vorliegende "Thermoelektrische Anordnung mit Tunnelkontakten" ist zusätzlich jedoch dadurch gekennzeichnet, daß die ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels aus n-leitendem oder p-leitendem einkristallinem, polykristallinem oder amorphem Halbleitermaterial bestehen, daß dieses Halbleitermaterial mindestens an seiner Oberfläche eine so hohe Konzentration von Elektronen oder Defektelektronen aufweist, daß dort das Fermi-Niveau bei Raumtemperatur einen Abstand vom Leitungsband bzw. vom Valenzband hat, welcher höchstens ein Zehntel des Halbleiter-Bandabstandes beträgt, daß auf diese Halbleiteroberfläche eine Deckschicht aus Metall, aus einer Metall-Legierung, aus einer metallisch leitenden Verbindung oder aus einem Supraleiter aufgebracht ist, so daß die Druck-Kontakte zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels Tunnelkontakte zwischen metallisch leitendem oder supraleitendem Material sind, und daß die Dicke der Deckschicht kleiner ist als die mittlere freie Weglänge der Majoritätsladungsträger im Halbleitermaterial, aus welchem die beiden ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels bestehen.

Es ist die Lehre der vorliegenden Erfindung, daß die Thermokraft des Thermoschenkels durch die Thermokraft des verwendeten Halbleitermaterials bestimmt wird, wenn die Dicke der Deckschicht kleiner ist als die

freie Weglänge der Majoritätsladungsträger im Halbleitermaterial. Wenn außerdem noch die Oberflächenschicht mit großer Elektronen- oder Defektelektronenkonzentration sich auf höherohmigem Halbleitermaterial befindet und wenn ihre Dicke kleiner ist als die freie Weglänge der Majoritätsladungsträger im höherohmigen Halbleitermaterial, dann wird die Thermokraft des Thermoschenkels durch die Thermokraft des höherohmigen Halbleitermaterials bestimmt. Es findet dann durch die Oberflächenschichten und Deckschichten in den Druck-Kontakten hindurch ein ballistischer Transport der Ladungsträger zwischen den beiden ungleich temperierten Halbleiter-Teilen des Thermoschenkels statt. Da andererseits die Druck-Kontakte Tunnelkontakte zwischen metallischem oder supraleitendem Material sind, kann das Verhältnis von elektrischem zum Wärmewiderstand des Thermoschenkels einen Minimalwert erreichen. Zur Vermeidung von thermischen Nebenschlüssen ist der Zwischenraum zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels in der Umgebung der Druck-Kontakte evakuiert. Außerdem ist der mittlere Durchmesser der Druck-Kontakte so klein, daß die Größe des Gesamtwärmewiderstandes der thermoelektrischen Anordnung durch die Tunnelkontakte zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels bestimmt wird. Wenn die beiden Teile des Thermoschenkels z. B. aus zwei Halbleiterscheiben bestehen, von denen wenigstens eine an ihrer Oberfläche so strukturiert ist, daß die Berührung unter Druck zwischen den beiden Halbleiterscheiben eine Vielzahl etwa gleich großer Druck-Kontakte erzeugt, dann genügt ein mittlerer Kontaktdurchmesser von etwa 1×10^{-4} cm, damit der Wärmewiderstand der Druck-Kontakte den Wärmewiderstand des Thermoschenkels bestimmt. Wenn die Druck-Kontakte außerdem auch noch den elektrischen Widerstand des Thermoschenkels bestimmen, dann verbindet die thermoelektrische Anordnung der Erfindung die hohen Thermokräfte des Halbleitermaterials mit einem niedrigen Verhältnis von elektrischem zum Wärmewiderstand in den Druck-Kontakten zwischen metallisch leitendem oder supraleitendem Material.

Die Folge davon ist ein hoher thermodynamischer Wirkungsgrad von Peltierkühlern oder Thermogeneratoren, die mit Hilfe der thermoelektrischen Anordnung der Erfindung aufgebaut sind.

Die Oberflächenschicht mit der hohen Konzentration von Elektronen oder Defektelektronen kann durch Erzeugung einer Anreicherungs-Randschicht oder durch Einbau einer entsprechend hohen Konzentration von Donatoren oder Akzeptoren in an sich bekannter Weise z. B. mit Hilfe von influenzierter Ladung oder mit Hilfe von Eindiffusion, Ionenimplantation oder Einlegieren von Dotierungsmaterial in die Halbleiteroberfläche erzeugt sein. Die Deckschicht aus Metall, einer Metall-Legierung, einer metallisch leitenden Verbindung oder aus Supraleiter kann in ebenfalls an sich bekannter Weise auf die hochdotierte Halbleiteroberfläche aufgebracht sein. Geeignete Verfahren sind z. B. das Aufputtern, das Aufdampfen im Hochvakuum und das pyrolytische oder elektrochemische Abscheiden. Als Metalle eignen sich vor allem die Metalle der IV- bis VII-Gruppe des Periodischen Systems der Elemente sowie die Eisen- und Platin-Metalle. Unter den metallisch leitenden Verbindungen sind besonders die Silizide, Carbide, Nitride und Boride geeignet. Als Supraleiter sind die klassischen Tieftemperatur-supraleiter und aber auch die oxidischen Supraleiter — z. B. auf der Basis Kupferoxid — mit

Vorteil verwendbar. Als Halbleitermaterialien für die beiden ungleich temperierten Teile eines Thermoschenkels eignen sich Element-Halbleiter wie z. B. Silizium oder Germanium oder auch Verbindungshalbleiter wie z. B. SiC, III/V-Verbindungen oder II/IV-Verbindungen.

Zur Reduzierung der Wärmeverluste durch Strahlung und zur besseren Anpassung an die Verhältnisse bei großen Temperaturdifferenzen kann eine thermoelektrische Anordnung auch aus zwei oder mehreren Thermoschenkeln aus je zwei getrennten und ungleich temperierten Teilen thermisch und elektrisch in Serie zu einem segmentierten Thermoschenkel zusammengesetzt sein.

Der mechanische Druck auf die Berührungsstellen zwischen den beiden Teilen des Thermoschenkels kann mit Hilfe eines Magnetfeldes erzeugt sein. Der mechanische Druck auf die Berührungsstellen kann aber auch aus der Druck-Differenz zwischen dem Vakuum in der Umgebung der Druck-Kontakte und der umgebenden Atmosphäre erzeugt sein.

Ein Thermoschenkel kann gemäß der Erfindung in einem eigenen Vakuumgefäß untergebracht sein. Es können sich jedoch auch ein n-Schenkel und ein p-Schenkel als Seebeck-Element oder als Peltier-Element in einem gemeinsamen Vakuumgehäuse befinden. Auch mehrere Seebeck-Elemente und Peltier-Elemente können in einem gemeinsamen Vakuumgehäuse untergebracht sein. Die thermoelektrische Anordnung der Erfindung kann auch zusammen mit einem Supraleiter oder mit einer supraleitenden Anordnung eine Funktionseinheit bilden. Auch als Funktionseinheit von Thermogenerator und Wärmepumpe kann die thermoelektrische Anordnung mit Vorteil benutzt werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sollen nachstehend näher erläutert werden.

In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 im Querschnitt einen Druck-Kontakt zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen eines thermoelektrischen p-Schenkels,

Fig. 2 schematisch im Querschnitt ein Peltier-Element mit einem p/p- und einem n/n-Druck-Kontakt mit Deckschichten aus einem Supraleiter.

Fig. 3 schematisch im Querschnitt ein Seebeck-Element mit je einem Ausschnitt aus einem segmentierten p-Schenkel und einem segmentierten n-Schenkel,

Fig. 4 zeigt im Querschnitt einen p-Schenkel im eigenen Vakuumgehäuse mit magnetisch erzeugtem Druck zwischen den beiden Teilen des p-Schenkels,

Fig. 5 zeigt einen p-Schenkel und einen n-Schenkel in einem gemeinsamen Vakuumgehäuse,

Fig. 6 zeigt im Querschnitt die Funktionseinheit eines Peltierkühlers mit einer supraleitenden Anordnung.

Ausführungsbeispiel 1

In Fig. 1 ist das thermoelektrische p-Material 1 eine Siliziumscheibe mit einem spezifischen Widerstand von $0,01 \Omega \text{cm}$. Die Siliziumscheibe hat als Folge eines Vakuum-Temperprozesses eine p-leitende Oberflächenschicht 2 in Form einer Anreicherungs-Randschicht, welche an der Oberfläche eine Defektelektronenkonzentration von $> 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ aufweist. Als Folge dieser hohen Konzentration liegt das Fermi-Niveau sehr nahe am Valenzband. Die Dicke dieser Oberflächenschicht 2 ist kleiner als die freie Weglänge 5 der Defektelektronen in der p-leitenden Silizium-Scheibe 1 mit einem spez. elektrischen Widerstand von $0,01 \Omega \text{cm}$. Auf diese Oberflächenschicht 2 ist in an sich bekannter Wei-

se eine metallisch leitende Schicht 3 von Platinsilizid aufgebracht worden, welche die Oberflächenschicht 2 sperrfrei kontaktiert. Die Dicke dieser metallisch leitenden Platinsilizidschicht 3 ist etwa $5 \times 10^{-7} \text{cm}$. Die beiden Siliziumscheiben 1 mit den Oberflächenschichten 2 und den metallisch leitenden Schichten 3 gehören zu den beiden getrennten Teilen eines thermo elektrischen p-Schenkels, welche sich auf den Temperaturen T_1 und T_2 befinden. Sie berühren sich unter mechanischem Druck mit ihren beiden metallisch leitenden Platin-Silizid-Schichten 3. Dadurch entsteht ein elektrischer und thermischer Druck-Kontakt mit dem Tunnelspalt 4. Eine elektrische Potentialdifferenz (+, -) zwischen den beiden Teilen bewirkt einen stark eingeschnürten und damit quantisierten ballistischen Transport von Nichtgleichgewichts-Defektelektronen von der rechten zur linken Seite des Kontaktes. Die mittlere freie Weglänge 5 der Defektelektronen ist größer als die Dicke der Oberflächenschichten 2 und der Deckschichten 3. Der Druck-Kontakt ist von Vakuum 6 mit einem Restdruck $\leq 1 \times 10^{-4}$ Torr umgeben.

Ausführungsbeispiel 2

In Fig. 2 sind 1 und 7 die jeweils getrennten Teile des p-Schenkels und des n-Schenkels eines Peltierelements. 1 besteht aus p-leitendem und 7 aus n-leitendem einkristallinem Galliumarsenid mit $0,3 \Omega \text{cm}$ bzw. $0,1 \Omega \text{cm}$ spez. elektrischem Widerstand. 2 ist eine Oberflächenschicht, welche ebenso wie 8 in an sich bekannter Weise mit Hilfe von Ionenimplantation von Akzeptoren bzw. Donatoren mit anschließendem Ausheilen der Gitterdefekte erzeugt wurde. Die Ionenimplantation wurde durch eine 40 \AA dicke Bariumtitanatschicht (auf dem Galliumarsenid 1 und 7) hindurch durchgeführt.

Auf die Oberflächenschichten 2 und 8 ist jeweils eine $2 \times 10^{-6} \text{cm}$ dicke Deck-Schicht 3 aus $\text{SrBiCaCu}_2\text{O}_6$ in an sich bekannter Weise aufgebracht und mit LASER-Puls annealed. Die beiden getrennten Teile des p-Schenkels und die beiden getrennten Teile des n-Schenkels berühren sich in den Druck-Kontakten mit den Deck-Schichten 3 aus $\text{SrBiCaCu}_2\text{O}_6$ über die Tunnelspalte 4. Die sperrfreien Anschlüsse 13 und 14 an dem p-Schenkel und dem n-Schenkel sind auf einer Temperatur $T < 90^\circ \text{K}$ festgehalten. Dadurch sind die Deckschichten 3 aus $\text{SrBiCaCu}_2\text{O}_6$ auf den Oberflächenschichten 2 und 8 supraleitende Schichten. Da diese — ebenso wie die Oberflächenschichten 2 und 8 — dünner sind als die freie Weglänge der Defektelektronen im p-GaAs und der Elektronen im n-GaAs fließt der Peltierstrom 12 durch die supraleitenden Druck-Kontakte als ballistischer Transport von Defektelektronen und Elektronen. In den supraleitenden Kontakten gibt es keine Kontaktwiderstände, aber der Wärmewiderstand des p-Schenkels und des n-Schenkels sind vergrößert um die Wärme-Querwiderstände der supraleitenden Deck-Schichten 3 in den Druck-Kontakten. Das Peltierelement ist von Vakuum 6 umgeben. Der Peltierstrom 12 fließt im Außenkreis über den Widerstand 11 und die Spannungsquelle 10. Als Folge des Peltierstromes 12 kühlt sich die leitende Brücke 9 zwischen dem p-Schenkel und dem n-Schenkel auf die Temperatur T_1 ab.

Ausführungsbeispiel 3

In Fig. 3 bilden vier p-Silizium-Scheiben 1 von $0,01 \Omega \text{cm}$ mit drei elektrisch und thermisch in Serie geschalteten Druck-Kontakten den p-Schenkel. Der

n-Schenkel besteht aus vier n-Silizium-Scheiben 7 v n 0,02 Ω cm mit drei elektrisch und thermisch in Serie geschalteten Druck-Kontakten. Die innere p-Scheibe 1 und die innere n-Scheibe 7 sind sperrfrei mit der elektrisch leitenden Brücke 9 verbunden. Die äußere p-Scheibe 1 ist sperrfrei mit dem Anschluß 13 und die äußere n-Scheibe 7 mit dem Anschluß 14 sperrfrei verbunden. Die Druckkontakte zwischen den p-Scheiben 1, die mit den Oberflächenschichten 2 und den Deckschichten 3 aus Iridiumsilizid überzogen sind, erzeugen über die Tunnelspalte 4 elektrische und thermische Verbindungen. Ebenso sind die n-Scheiben 7 mit den Oberflächenschichten 8 und den Deckschichten 3 aus Tantaliluzid über Tunnelspalte 4 elektrisch und thermisch verbunden. 6 ist das umgebende Vakuum. Die elektrisch leitende Brücke 9 ist durch Wärmezufuhr von außen auf der Temperatur $T_1 = 700^\circ$ K festgehalten. Die Anschlüsse 13 und 14 sind auf 30° C gekühlt. Der Generatorstrom 15 fließt über den Verbraucherwiderstand 11.

Ausführungsbeispiel 4

In Fig. 4 sind zwei p-leitende Halbleiterscheiben 1 aus Siliziumcarbid über die sperrfreien Kontakte 16 und 17 mit dem ferromagnetischen Träger 18 und dem Magneten 19 verbunden. Die Siliziumcarbid-Scheiben 1 werden durch die Anziehungskraft zwischen dem Magneten 19 und dem ferromagnetischen Träger 18 zusammengepreßt. Dadurch entstehen Druck-Kontakte zwischen den beiden Siliziumcarbidscheiben 1. Die Druck-Kontakt-Seiten der Siliziumcarbidscheiben 1 haben Oberflächenschichten 2, auf welche Deckschichten 3 aus Tantalcarbid mit einer Dicke $< 1 \times 10^{-6}$ cm aufgebracht sind. Die Druckkontakte zwischen den beiden Scheiben 1 sind dadurch Tunnelkontakte 4 zwischen Tantal-Carbid-Oberflächen 3. 20 ist ein Keramik-Gehäuse, welches evakuiert 6 ist.

Ausführungsbeispiel 5

In Fig. 5 sind zwei p-leitende Halbleiterscheiben 1 und zwei n-leitende Halbleiterscheiben 7 in einem Vakuumgehäuse 6 aufgebaut. Eine p-Scheibe 1 und eine n-Scheibe 7 sind sperrfrei auf die metallisch leitende Brücke 9 legiert. Die andere p-Scheibe 1 und die andere n-Scheibe 7 ist ebenfalls sperrfrei mit dem elektrischen Anschluß 13 bzw. 14 verbunden. Die Anschlüsse 13 und 14 sind auf der Temperatur T_2 festgehalten. Zu diesem Zweck sind sie über die Federn 21 elektrisch und thermisch gut leitend mit den beiden voneinander isolierten Bodenplatten 23 und 24 des Glasgehäuses 20 verbunden. Die Federn 21 können über die beiden Schrauben 22 zusammengedrückt werden. Damit wird der Kontaktdruck zwischen den beiden Teilen der Thermo-schenkel eingestellt. Über den Kontaktdruck ist die maximale Leistungsabgabe — bei Betrieb als Seebeck-Element — oder die maximale Leistungsaufnahme (Kühlleistung) — bei Betrieb als Peltier-Element — einstellbar. Auf den Kontaktseiten tragen die beiden Halbleiterscheiben 1 bzw. 7 Oberflächenschichten 2 bzw. 8 und je eine metallische Deckschicht 3. Die Druckkontakte leiten über die Tunnelspalte 4.

Ausführungsbeispiel 6

Fig. 6 zeigt schematisch eine supraleitende Anordnung 28, welche mit ihren elektrischen Anschlüssen 29 in

dem Keramikrohr 25 aufgebaut ist. Die leitenden Brücken 9 des Peltier-Kühlers sind im Wärmekontakt mit dem Keramikrohr 25. Sie kühlen dieses auf die Temperatur T_1 für den supraleitenden Betrieb von 28. Die Schenkel des Peltierkühlers bestehen aus p-Silizium-Epitax-Scheiben 1 mit einem spez. el. Widerstand der Epitax-Schicht von $3-4 \Omega$ cm und n-Silizium-Epitax-Scheiben 7 mit einem spez. el. Widerstand der Epitax-Schicht von $0,8-1,2 \Omega$ cm. Diese Scheiben 1 und 7 sind einseitig mit den leitenden Brücken 9 bzw. 26 oder mit den elektrischen Anschlüssen 13 bzw. 14 sperrfrei verbunden. Die leitenden Brücken 26 und die Anschlüsse 13 und 14 sind auf der Temperatur T_2 festgehalten. Zwischen den paarweisen Epitaxscheiben 1 und 7, die jeweils einseitig strukturiert sind, gibt es eine Vielzahl geometrisch gleich großer Druck-Kontakte mit Durchmesser $< 1 \times 10^{-4}$ cm. Außerdem haben die Silizium-Epitaxscheiben 1 und 7 jeweils eine Oberflächenschicht 2 bzw. 8 mit einer Ladungsträgerkonzentration $> 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$. Auf den Oberflächenschichten 2 bzw. 8 befinden sich metallische Deckschichten 3. Der Peltierstrom fließt als ballistische Trägerinjektion durch die Tunnelspalte 4 und die metallischen Deckschichten 3 sowie durch die Oberflächenschichten 2 bzw. 8. Da die Tunnelkontakte ein Verhältnis von elektrischem zum Wärmewiderstand haben, welches dem Gesetz von Wiedemann-Franz-Lorenz gehorcht (wie bei Metallen) und andererseits der Peltier-Kühler die hohe Thermospannung der Silizium-Epitax-Zonen aufweist, wird eine Kühlttemperatur T_1 erreicht, bei welcher die supraleitende Anordnung 28 arbeitet. 20 ist das Glasgehäuse des Peltier-Kühlers, welches evakuiert 6 ist.

Bezugszeichenliste

- 1 p-Halbleiter
- 2 Oberflächenschicht mit hoher Defektelektronen-Konzentration
- 3 metallisch leitende oder supraleitende Deckschicht
- 4 Tunnelspalt zwischen den Deckschichten 3
- 5 mittlere freie Weglänge
- 6 Vakuum
- 7 n-Halbleiter
- 8 Oberflächenschicht mit hoher Elektronen-Konzentration
- 9 metallische Brücke zwischen dem p- und dem n-Schenkel
- 10 Stromquelle
- 11 elektrischer Widerstand
- 12 Peltier-Strom
- 13 elektrischer Anschluß des p-Schenkels auf der konstanten Temperatur T_2
- 14 elektrischer Anschluß des n-Schenkels auf der konstanten Temperatur T_2
- 15 Seebeck-Strom
- 16 sperrfreier Kontakt zwischen dem ferromagnetischen Träger 18 und dem p-Schenkel
- 17 sperrfreier Kontakt zwischen dem Magneten 19 und dem p-Schenkel
- 18 ferromagnetischer Träger
- 19 Magnet
- 20 Glasgehäuse
- 21 Druckfeder
- 22 Schraub
- 23 Bodenplatte des p-Schenkels
- 24 Bodenplatte des n-Schenkels
- 25 Keramik-Rohr

- 26 m tallische Brücke zwischen dem p-Schenkel und dem
n-Schenkel auf der Temperatur T_2
27 elektrischer Anschluß des Peltier-Kühlers
28 supraleitende Anordnung
29 elektrischer Anschluß an 28

Patentansprüche

1. Thermoelektrische Anordnung, bei welcher ein Thermoschenkel aus zwei getrennten und ungleich temperierten Teilen besteht, welche sich an mindestens einer Stelle stationär berühren, wobei die Berührungsstellen so ausgebildet sind, daß sie mit Hilfe von mechanischem Druck erzeugte thermische und elektrische Kontakte mit durchtunnelbarer Potentialbarriere sind, durch welche ein Wärmestrom mit einem Temperaturgradienten $> 10^4 \text{ }^\circ\text{K/cm}$ fließt, dadurch gekennzeichnet, daß die ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels aus n-leitendem oder aus p-leitendem einkristallinem, polykristallinem oder amorphem Halbleitermaterial bestehen, daß dieses Halbleitermaterial mindestens an seiner Oberfläche eine so hohe Konzentration von Elektronen oder Defektelektronen aufweist, daß dort das Fermi-Niveau bei Raumtemperatur einen Abstand vom Leitungsband bzw. vom Valenzband hat, welcher höchstens ein Zehntel des Halbleiter-Bandabstandes beträgt, daß auf diese Halbleiteroberfläche eine Deckschicht aus Metall, aus einer Metall-Legierung, aus einer metallisch leitenden Verbindung oder aus einem Supraleiter aufgebracht ist, so daß die Druck-Kontakte zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels Tunnelkontakte zwischen metallisch leitendem oder supra-leitendem Material sind, und daß die Dicke der Deck-Schicht kleiner ist als die mittlere freie Weglänge der Majoritätsladungsträger im Halbleitermaterial, aus welchem die ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels bestehen.
2. Thermoelektrische Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Durchmesser der Druck-Kontakte zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels so klein ist, daß die Größe des Gesamt-Wärmewiderstandes der thermoelektrischen Anordnung durch die Tunnelkontakte zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels bestimmt wird.
3. Thermoelektrische Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels aus zwei Halbleiterscheiben bestehen, und daß mindestens eine Halbleiterscheibe so an ihrer Oberfläche strukturiert ist, daß die Berührung zwischen den beiden Halbleiterscheiben eine Vielzahl von Druck-Kontakten mit Durchmessern $\leq 1 \times 10^{-4} \text{ cm}$ ergibt.
4. Thermoelektrische Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Widerstand und damit die Leistungsabgabe oder Leistungsaufnahme eines Thermoschenkels über die Größe des mechanischen Drucks eingestellt wird.
5. Thermoelektrische Anordnung, nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels aus Element-Halbleitern wie z. B. Germanium oder Silizium oder aus Verbindungs-

- halbleitern wie z. B. SiC, III/V-Verbindungen oder II/VI-Verbindungen bestehen.
6. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Reduzierung der Wärmeverluste durch Strahlung und zur besseren Anpassung an große Temperaturdifferenzen zwei oder mehrere Thermoschenkel aus je zwei getrennten und ungleich temperierten Teilen, thermisch und elektrisch in Serie zu einem segmentierten Thermoschenkel zusammengesetzt sind.
 7. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden ungleich temperierten Teile des Thermoschenkels durch mechanischen Druck zusammengehalten werden, welcher mit Hilfe eines Magnetfeldes erzeugt ist.
 8. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens die Tunnelkontakte zwischen den beiden ungleich temperierten Teilen des Thermoschenkels — zur Reduzierung der thermischen Nebenschlüsse — von Vakuum umgeben sind, und daß der mechanische Druck, mit dem die Kontaktwiderstände zusammengehalten werden, aus der Druckdifferenz zwischen dem Vakuum und der umgebenden Atmosphäre stammt.
 9. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Thermoschenkel gemäß der Erfindung in einem eigenen Vakuumgehäuse untergebracht ist.
 10. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Seebeckelement oder ein Peltierelement mit einem p-Schenkel und einem n-Schenkel gemäß der Erfindung — oder mehrere Seebeckelemente oder Peltier-Elemente gemäß der Erfindung — in einem gemeinsamen Vakuumgehäuse untergebracht sind.
 11. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Seebeckelement oder ein Peltierelement gemäß der Erfindung — oder eine Mehrzahl dieser Seebeckelemente oder Peltierelemente parallel und in Serie geschaltet — als Thermogenerator oder als Peltier-Kühler benutzt ist.
 12. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine thermoelektrische Anordnung gemäß der Erfindung zusammen mit einem Supraleiter oder mit einer supraleitenden Anordnung eine Funktionseinheit bildet.
 13. Thermoelektrische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine thermoelektrische Anordnung gemäß der Erfindung als Thermogenerator mit einer thermoelektrischen Anordnung als Wärmepumpe eine Funktionseinheit bildet.

FIG.1

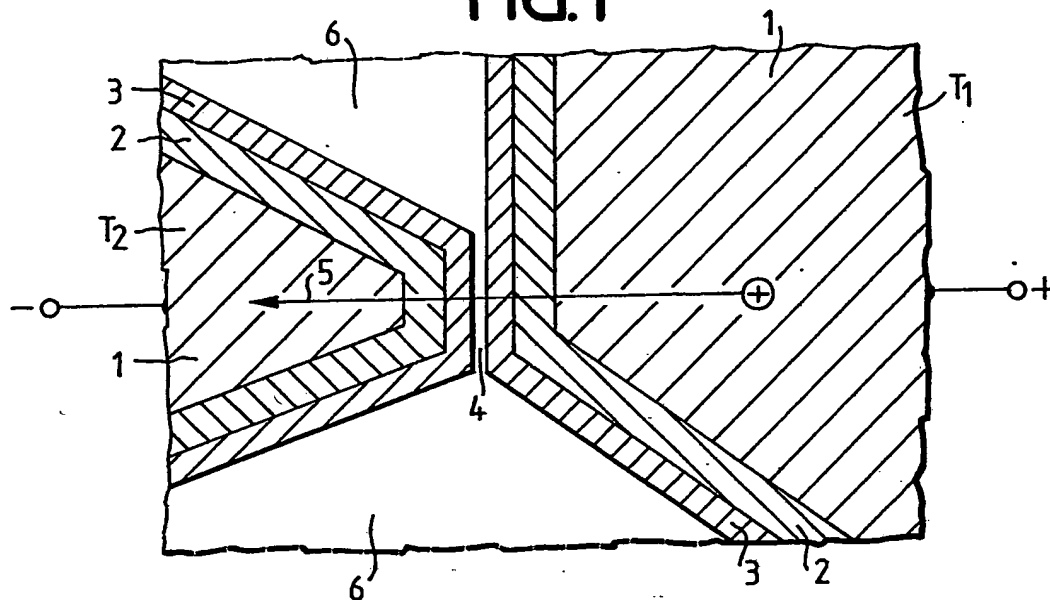


FIG. 2

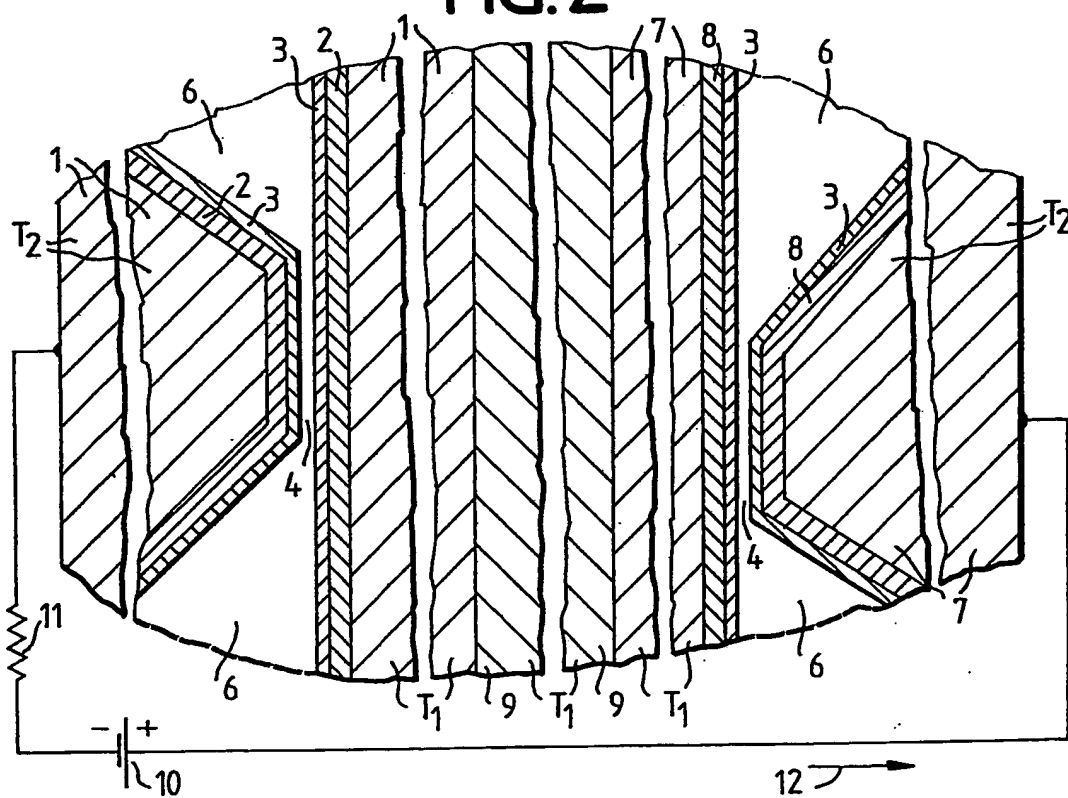


FIG. 3

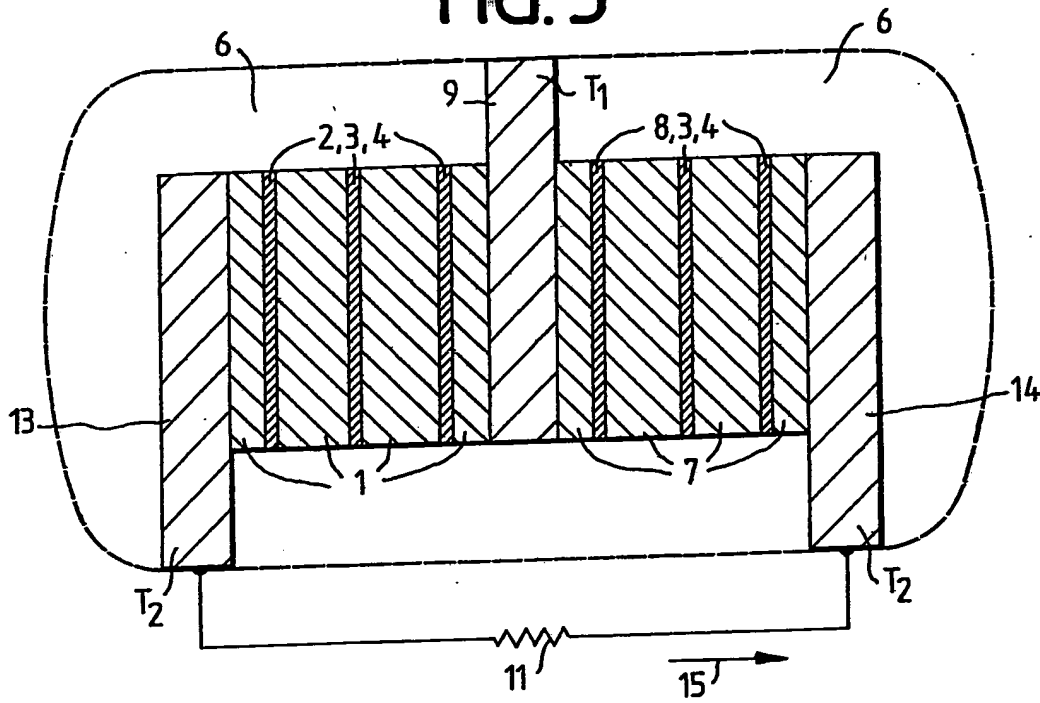


FIG. 4

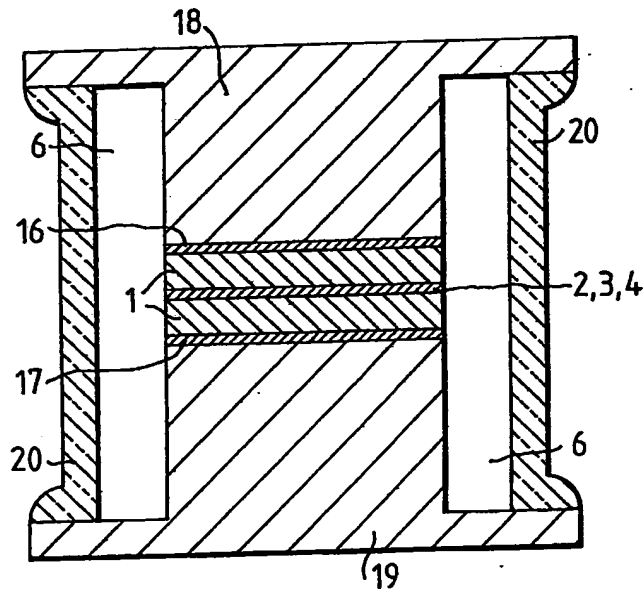


FIG.5

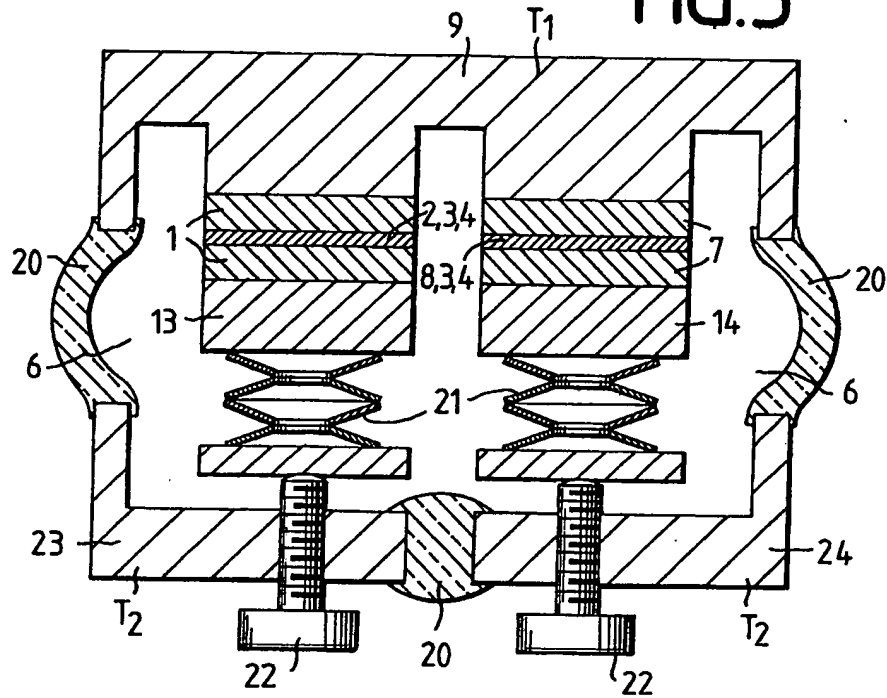


FIG.6

